Tijdschrift van het
Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
DEEL 30 No. 3 1965

Elektronische aspecten van geïntegreerde schakelingen

door E. J. van Barneveld*)

Voordracht gehouden voor het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap op 5 juni 1964.

Summary

The terms as defined by the I.E.C. are quoted, with a translation and a short description in Dutch.

Integrated circuits are attractive for their small size, light weight, reliability and, above all, for their expected low price.

This price can only be low for big quantities, which will only be possible by a more general adoption of standard circuits.

The small size necessitates a low dissipation. For digital circuits a reduced current level means a lower speed, and a reduced supply voltage gives less fan out. Semiconductor integrated circuits are smaller than hybrid solutions, tend to sacrifice more, usually on fan out. The size attainable in both technologies is quoted.

Noise sensitivity tends to become better with reduced dimensions of a machine, but is also determined by the circuit design.

The author deals only with digital circuits, but the new technologies are also very attractive for linear circuits.

1. Nomenclatuur

De beide artikelen uit dit nummer zijn gewijd aan onderwerpen uit de micro-elektronica. U verwachtte hier misschien het woord „microminiaturisatie." De „International Electrotechnical Commission" heeft te Bad Kreuznach echter de volgende terminologie vastgesteld:

*) N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Icoma.

Microelectronics:	That entire body of technology which is associated with or applied to the realisation of electronic circuits with a degree of miniaturisation greater than that usually obtained with conventional methods and/or parts.
Microstructure;	A structure of high component density the parts of which may be assembled or may be integrated and which for the purpose of commerce and specification is considered indivisible.
High density assembly;	A microstructure in which the various components and devices are realised and tested separately before being assembled and packaged.
Thin film integrated circuit:	An integrated circuit composed entirely of thin film circuit elements and interconnections deposited on supporting material.
Semiconductor integrated circuit:	An integrated circuit composed of circuit elements and interconnections, the circuit elements being realised entirely within one ore more blocks of semiconductor material.
Hybrid integrated circuit:	An integrated circuit using a combination of thin film and semiconductor techniques.
Hybrid Microstructure:	A microstructure consisting of one or more integrated circuits in combination with one or more discrete devices or components.

De termen die voor vandaag het belangrijkste zijn, zou men als volgt kunnen vertalen en kort kunnen omschrijven.

Microelectronics = micro-elektronica = kleiner dan normaal.
Thin film integrated circuit = opgedampte schakeling = alles opgedampt.
Semiconductor integrated circuit = geïntegreerde halfgeleiderschakeling = alles in halfgeleider.
Hybrid integrated circuit = hybride geïntegreerde schakeling = opgedamt + halfgeleidertechniek.

Hybrid microstructure = hybride microblokje = geïntegreerd + discrete onderdelen.

De vertalingen zijn zoveel mogelijk gelijkluidend met de Engelse gekozen. „Hybrid microstructure" is nog het moeilijkst te vertalen; „hybride microstructuur" is beslist niet goed! Het zou vermoedelijk „hybride microconstructie" moeten zijn, maar wie vindt dat duidelijk? Als de vertaling toch niet letterlijk kan zijn, dan lijkt mij „hybride microblokje" nog het beste, hoewel ik het graag voor beter zal geven.

Ongetwijfeld zal de praktijk deze taalmoeilijkheden nog eens op elegante wijze oplossen.

2. Waarom micro-elektronica?

Waarom wordt er eigenlijk aan micro-elektronica gewerkt? Tenslotte is het niet zo erg aannemelijk dat vele firma's grote bedragen in het ontwikkelingswerk steken, alleen omdat het zo'n leuk onderwerp is, of omdat het in de mode is. Men moet daar betere redenen voor hebben. Deze redenen zijn:

2.1. Kleiner en minder zwaar. De hele ontwikkeling is met dit doel begonnen, met het oog gericht op militaire toepassingen, b.v. raketten. Ook voor civiele toepassingen kan dit punt aantrekkelijk zijn, bijvoorbeeld voor draagbare apparatuur, in de luchtvaart, enz.

Voor de meeste civiele toepassingen is dit punt echter niet zo belangrijk, al is het beslist geen nadeel (tenzij de montage moeilijk wordt, of de schakelingen zó klein worden dat ze moeilijk terug te vinden zijn als ze op de grond vallen).

2.2. Betrouwbaarder. Door het wegvallen van een aantal soldeerpunten voor het doorverbinden van de onderdelen verwacht men een betere betrouwbaarheid. Velen plaatsen bij dit argument echter een vraagteken, omdat deze doorverbindingen niet zo onbetrouwbaar zouden zijn.

Het hangt er vermoedelijk maar van af, wat men met elkaar vergelijkt. Natuurlijk vergelijkt men met conventionele onderdelen op zgn. open print. Deze onderdelen zijn daarbij onderworpen aan klimatologische invloeden, trillingen, schokken en dergelijke. Nu weten wij uit ervaring dat een bescherming van de onderdelen tegen genoemde invloeden een zeer betrouwbaar produkt oplevert. Dank

zij de medewerking van enkele afnemers heeft men bv. voor Philips' circuitblokken een *p*-factor voor praktische gebruiksomstandigheden kunnen bepalen; men vond $p = 0{,}014\,\%/1000\,h$ met een betrouwbaarheidsinterval van $50\,\%$, d.i. $0{,}024\,\%/1000\,h$ met $95\,\%$ betrouwbaarheid.

Tot op heden geeft men voor geïntegreerde schakelingen nog niet zulke goede getallen; vermoedelijk zullen ze ongeveer even goed kunnen zijn als de circuitblokken, al is de hogere werktemperatuur van de geïntegreerde schakelingen een nadelige factor.

2.3. Goedkoper. De geïntegreerde schakelingen worden grotendeels via procédé's gefabriceerd waarbij grote aantallen schakelingen tegelijk worden behandeld. Deze massale behandeling is goedkoper dan het stuk voor stuk samenstellen van de schakelingen uit de onderdelen. Het ziet er zelfs naar uit dat het goedkoper kan worden dan de overeenkomstige conventionele onderdelen samen.

Daarmee is dan het belangrijkste argument genoemd, want de prijs is vaak de doorslaggevende factor.

3. Vooral standaard-schakelingen goedkoper

De geïntegreerde schakelingen beloven dus goedkoper te worden dan de overeenkomstige conventionele onderdelen samen. Dit betekent echter, dat men in het algemeen uit economische overwegingen de schakelingen zal moeten gebruiken zoals de fabrikant die ontwikkeld heeft. Voor het merendeel van de gebruikers zal dit een mentaliteitswijziging betekenen, want zij maken de schakelingen zelf (terwijl er nu toch ook circuitblokken bestaan die slechts zó weinig duurder zijn dan de som van de onderdelen dat het ontwikkelen van eigen schakelingen meestal niet loont).

Natuurlijk zal men straks ook eigen geïntegreerde schakelingen kunnen laten maken. Alleen bij zeer grote series zal dit lonend zijn, door de hoge initiële kosten. Dit geldt overigens in veel sterkere mate voor de geïntegreerde halfgeleiderschakelingen dan voor de hybride oplossingen.

De ontwikkeling van de circuitblokken heeft ons geleerd dat het volgen van de standaardoplossing bij digitale schakelingen een aantal voordelen heeft.

Ten eerste biedt de standaard-oplossing een serie verschillende functies, zoals poort, flip-flop, monostabiele multivibrator, in- en

uitgangstrappen, waarmee vrijwel alle opgaven grotendeels te verwezenlijken zijn. En dat in een op elkaar aangepast ontwerp, ze vormen een reeks, een systeem, een samenhangend geheel.

Men komt daarmee later niet voor onaangename verrassingen te staan, wanneer men nog iets wil toevoegen en het dan niet blijkt te passen, omdat deze toepassing niet voorzien was.

Tweede voordeel: omdat de schakelingen van een reeks samen ontworpen worden, kan men bepaalde voorwaarden in het ontwerp „inbouwen". Bij de toepassing behoeft men daar dan niet meer op te letten. Dat maakt het gebruik veel gemakkelijker.

Het aantal noodzakelijke gegevens kan zo zelfs verminderd worden.

Een voorbeeld: in het algemeen zal men van een schakeling vier gegevens per ingang of uitgang moeten verstrekken, nl. twee stromen voor de twee signaalniveau's en twee andere gegevens voor de positiefgaande en negatiefgaande flanken, bijvoorbeeld de capacitieve belastbaarheid.

Door de schakelingen aan enkele algemene voorwaarden te laten voldoen, dus door ze als onderdelen van een reeks te ontwerpen, konden wij in de nieuwste reeksen circuitblokken volstaan met slechts twee gegevens, nl. met een stroom op het nul-volt-niveau en een gegeven voor de negatiefgaande flank. Iets dergelijks is ook bij geïntegreerde schakelingen mogelijk.

Natuurlijk kan men dit ook bereiken als men zijn eigen schakelingen ontwerpt. Maar waarom zou men dit doen als een ander het al gedaan heeft? Iedere ontwerper die nu zijn eigen schakelingen ontworpen heeft, heeft daarbij tijd en geld gestoken in iets dat toch eigenlijk een doublure is. Bij elkaar moet dit een enorme hoeveelheid tijd en geld zijn.

Misschien zullen de lage prijzen van de micro-elektronica ons deze verspilling afleren.

4. Afmeting en dissipatie

In iedere schakeling wordt warmte ontwikkeld, daardoor wordt hij steeds warmer dan de omgeving.

Maakt men een bepaalde schakeling nu steeds kleiner, dan wordt deze warmte door een steeds kleiner oppervlak afgevoerd. De temperatuursverhoging wordt daardoor steeds groter. Dit heeft de normale bezwaren, zoals toenemende thermische spanningen, die de levensduur ongunstig beïnvloeden en toenemende verschuiving van de halfgeleidereigenschappen, van de

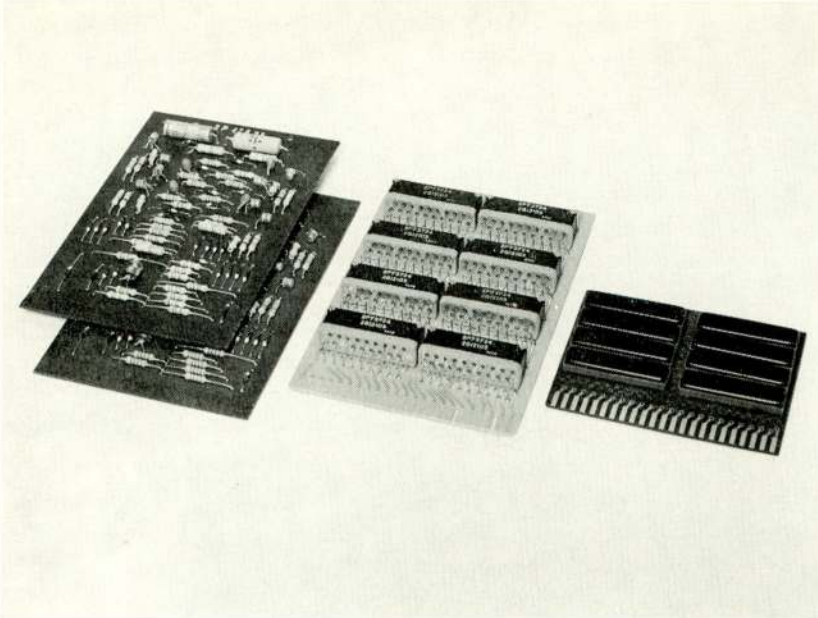


FIG. 1

Coventionele techniek, circuitblokken en micro-elektronica. Wat in de conventionele techniek (links) op twee kaarten kan, vergt met circuitblokken (midden) maar één kaart. De blokjes rechts bevatten schakelingen met opgedampte weerstanden

weerstanden, enz., die het ontwerp minder efficiënt maken.

Tenslotte bereikt men de hoogst toelaatbare temperatuur. Een verdere verkleining van de afmetingen is nu nog slechts mogelijk bij gelijktijdige vermindering van de dissipatie. Men zal dus de voedingsspanning moeten verminderen, of de stroom, of beide. In de volgende hoofdstukken zullen wij de gevolgen van deze beide maatregelen eens beschouwen.

5. Lager stroomniveau kost snelheid

Bij digitale schakelingen betekent een lager stroomniveau een lagere snelheid: het laden en ontladen van de circuitcapaciteiten zal met een lagere stroom meer tijd kosten. Maakt men de schakeling echter kleiner, dan worden ook de *circuitcapaciteiten* kleiner. Dat compenseert elkaar echter niet geheel. Dat blijkt uit het verloop van de capaciteiten als functie van de afmetingen, dat in figuur 2 is weergegeven.

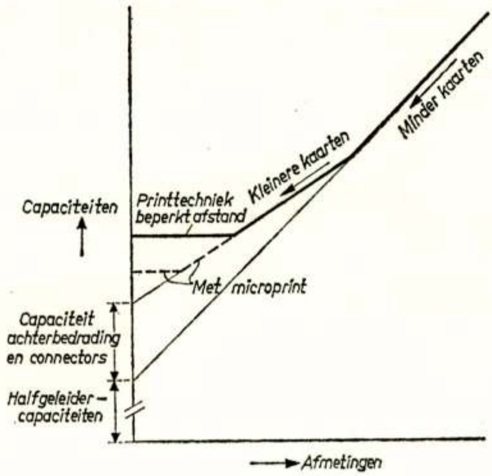


FIG. 2

Capaciteiten als functie van de afmetingen

Om te beginnen zijn er de halfgeleidercapaciteiten, die constant zijn. Over de bedradingscapaciteit kan het volgende worden opgemerkt. Maakt men de schakelingen van zeer groot geleidelijk kleiner, dan kan men eerst het aantal kaarten kleiner maken. De bedradingscapaciteit neemt daardoor lineair met de afmetingen af. In dit gebied werkt men meestal met losse onderdelen op een kaart.

Al miniaturiserend bereikt men dan een punt, waarop het aantal schakelingen per kaart zo groot wordt dat de kaart niet genoeg contacten meer heeft, of de uitwisselbaarheid een grens stelt. Met kleinere schakelingen kan men nu alleen de kaarten nog kleiner maken, waarbij de capaciteit op de kaart nog afneemt. De capaciteit van de connectors en de achterbedrading is nu echter constant. Met circuitblokken komt men in dit gebied terecht.

Tenslotte bereikt men dan een punt waarop het sporenpatroon op de kaart niet fijner meer kan, hetzij omdat de printtechniek dit niet toestaat, of omdat er bepaalde eisen aan kruipwegen en dergelijke gesteld worden.

Worden de schakelingen nu nog kleiner, dan kan men de draden slechts laten uitwaaieren om ze op de vereiste afstand in de print te laten komen. De bedradingscapaciteit vermindert dan niet meer.

Als dit toelaatbaar is, kan men nu nog verder komen door

een fijnere printtechniek toe te passen (bv. een fotografisch procédé in plaats van zeefdrukken) of door een heel andere techniek van doorverbinden. In dit gebied brengt ons de microelektronica.

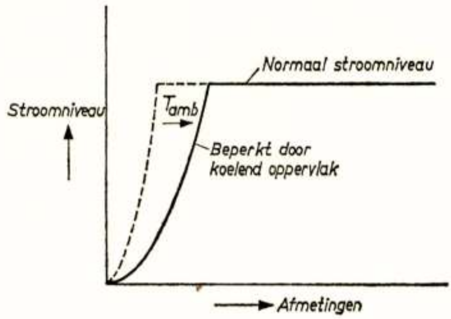


FIG. 3

Stroomniveau van de schakeling als functie van de afmetingen

Bij dit verkleinen moet ook het *stroomniveau* aangepast worden. zie figuur 3. Grote schakelingen kunnen met een stroomniveau werken dat door andere overwegingen bepaald is, bijvoorbeeld door de optimale werking van de transistor. Met het kleiner worden neemt het koelend oppervlak af en wel kwadratisch met de afmetingen. De temperatuursverhoging neemt daardoor steeds toe. Is eenmaal de maximaal toelaatbare temperatuur bereikt, dan zal de stroom kwadratisch met de afmetingen moeten afnemen.

Als de omgevingstemperatuur lager is, kan men natuurlijk meer temperatuursverhoging toestaan, dus meer dissipatie. De maximale omgevingstemperatuur bepaalt dus eigenlijk het knikpunt, bij gegeven maximale halfgeleidertemperatuur.

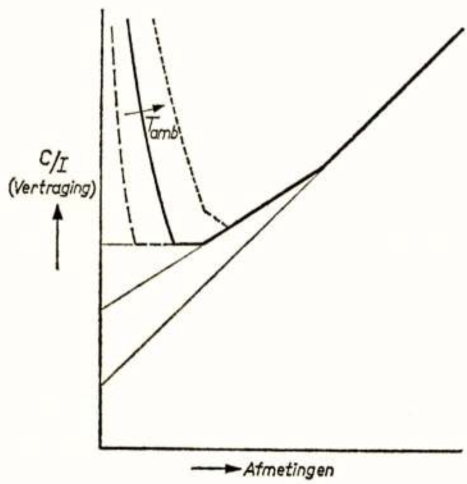


FIG. 4

Vertraging per trap als functie van de afmetingen. Capaciteiten (fig. 2) gedeeld door stroom (fig. 3) bepalen de vertraging per trap

De *snelheid* wordt nu bepaald door het quotient van C en I; C/I is een maat voor de vertraging per trap. Het verloop is in figuur 4 gegeven voor verschillende omgevingstemperaturen.

Een eerste conclusie is uit deze grafiek wel duidelijk: kleinere schakelingen kunnen sneller zijn. Natuurlijk willen we nu in het laagste punt zitten. Dat

leidt meteen tot de tweede conclusie: we moeten het normale stroomniveau handhaven. Dat blijkt in de meeste ontwerpen ook gedaan te zijn. Ten derde moet men de omgevingstemperatuur niet hoger eisen dan de afmetingen toestaan; deze stelling kan met evenveel recht worden omgekeerd: men moet de schakelingen niet kleiner maken dan de omgevingstemperatuur toestaat.

Bij de laatste overwegingen kunnen we alleen maar in kwalitatieve termen spreken omdat ook de voedingsspanning invloed op de dissipatie heeft, en dus op de toelaatbare omgevingstemperatuur. Wij bekijken dus eerst dat punt.

6. Lagere voedingsspanning kost belastbaarheid

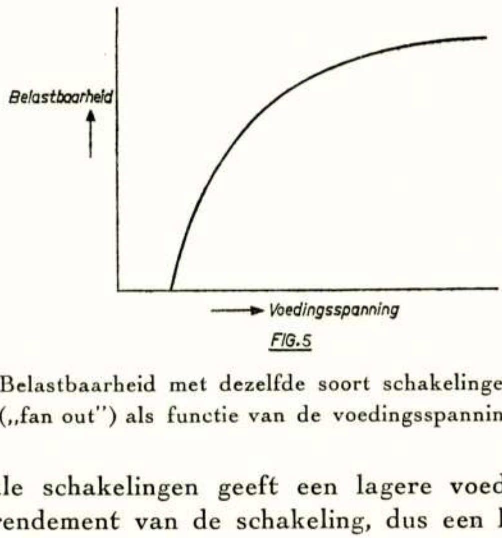


FIG.5

Belastbaarheid met dezelfde soort schakelingen („fan out") als functie van de voedingsspanning

Bij digitale schakelingen geeft een lagere voedingsspanning een lager rendement van de schakeling, dus een lagere belastbaarheid, ongeveer zoals figuur 5 aangeeft. Wel staat de ene schakeling wat dat betreft veel meer toe dan de andere.

In het algemeen geldt: hoe kleiner de logische slag, hoe lager de voedingsspanning kan zijn. Voor geïntegreerde schakelingen heeft men daarom een voorkeur voor schakelingen met kleine logische slag. Is de schakeling eenmaal gekozen, dan kan men de voedingsspanning alleen verminderen ten koste van de belastbaarheid.

Vaak hoort men de mening verkondigen: wat hindert het dat de belastbaarheid kleiner wordt, zolang hij maar hoog genoeg is voor het merendeel van de gevallen. Als de „fan out" (belastbaarheid met dezelfde schakelingen) maar 4 is dan is dat vrijwel overal voldoende. Er is toch een schakeling met veel

hogere belastbaarheid nodig, en het maakt dan weinig uit of men die bv. in 2% of in 10% van de gevallen gebruiken moet.

Natuurlijk schuilt er veel waars in deze redenering, toch is er ook wel iets tegen te zeggen.

Om allerlei redenen wil men een machine graag opbouwen uit zoveel mogelijk dezelfde kaarten. De belangrijkste reden hiervoor is wel, dat het pakket reservekaarten dan goedkoper is. Hoe hoger nu de belastbaarheid is, hoe minder kans er is, dat men een bepaald gedeelte van de machine niet met een standaard-kaart kan realiseren.

Hoe hard dit gaat toont een voorbeeld: is de belastbaarheid voor 90% van de gevallen voldoende en zitten er 6 schakelingen op de kaart, dan is er slechts een kans van $0{,}9^6 = 0{,}53$ dat een willekeurig deel van de machine met deze kaart te verwezenlijken is. Natuurlijk kan men toch in een groter aantal gevallen met deze standaardkaarten werken en de speciale schakelingen met grotere belastbaarheid op aparte kaarten samenbrengen. Dat betekent echter lange verbindingen, dus veel bedradingscapaciteit, en bovendien een onoverzichtelijke opbouw van de machine.

Een tweede belangrijke reden waarom een hoge belastbaarheid aantrekkelijk is, is wel dat de meeste schakelingen dan ver onderbelast werken, zij zijn dan ongevoeliger voor storingen. Bovendien is er meer marge voor veroudering. Dit alles maakt de machine betrouwbaarder.

Ik meen dan ook de conclusie te mogen trekken dat een hoge belastbaarheid aantrekkelijk is, zelfs als hij weinig nodig is.

7. **Keuze: lage voedingsspanning**

Uit de voorgaande beschouwingen is naar voren gekomen dat het met het oog op de snelheid nuttig is, een normaal stroomniveau te handhaven. Verder vonden we, dat het voor de belastbaarheid nuttig is, een hoge voedingsspanning te gebruiken. De beide redenaties verdragen zich natuurlijk niet met de lagere dissipatie die de kleinere afmetingen ons oplegt.

Hoe doet men hier nu een keuze? Wij zien dat men in de micro-elektronica het normale stroomniveau zo veel mogelijk handhaaft. Is er een beperking van de dissipatie nodig, dan zoekt men dat in de eerste plaats in de voedingsspanning. Daaruit vloeit dan weer voort een voorliefde voor schakelingen die

met een lage voedingsspanning toch nog een redelijke belastbaarheid geven.

8. Hoe klein?

Hoe groot (of beter: hoe klein) maakt de micro-elektronica de schakelingen dan? Daarin verschillen de diverse technieken nogal.

De *geïntegreerde halfgeleiderschakelingen* worden helemaal in of op een siliciumkristal gemaakt. Dit kristal is vrij duur, men maakt het dus zo klein mogelijk. Het koelend oppervlak hangt dan van de onthulling af, die als een soort koelplaat werkt. Dat is vaak de bekende *TO*-5 transistoromhulling of een zogenaamd „flat package", waarvan de afmetingen met 1/8 inch opklimmen: 1/8 x 1/4, 1/4 x 1/4, 1/4 x 3/8 inch, enz., dat is ongeveer 3 x 6, 6 x 6 en 6 x 9 mm.

Op glas opgedampte weerstanden zijn veel goedkoper dan silicium, ze kunnen dus zonder bezwaar wat groter gemaakt worden. Dat heeft dan het bijkomende voordeel dat de weerstanden nauwkeuriger gemaakt kunnen worden. Daardoor wordt de belastbaarheid groter, met de bekende voordelen. De afmetingen kan men dan laten aansluiten aan de gangbare printtechniek. De eerste schakelingen zal Philips uitbrengen in een omhulling van 53 x 12,7 x 6 mm, met pennen op een steek van 2 eenheden, d.i. ca. 5 mm. Voor de toekomst denkt men aan een omhulling van 25 x 21 x 4 mm, met pennen op een steek van 1 eenheid, d.i. ca. 2,5 mm.

Vergelijken wij de twee technieken, dan zijn technisch gezien de geïntegreerde halfgeleiderschakelingen waardevol als het gaat om minimale afmetingen of gewicht. De hybride oplossing met opgedampte weerstanden kan betere prestaties leveren (vooral belastbaarheid) en is voor normaal gebruik toch klein en licht genoeg.

Overigens ziet het er naar uit dat niet deze technische overwegingen, maar de prijs de doorslaggevende factor zal zijn. Het is moeilijk te voorspellen welke techniek daar de beste prestaties zal leveren.

9. Storingsgevoeligheid van micro-elektronica

Hoe staat het met de storingsgevoeligheid van de micro-elek-

tronica in vergelijking met normale schakelingen? Om een juiste vergelijking tussen de twee technieken te krijgen moeten we om te beginnen naar vergelijkbare schakelingen kijken. Want men kan natuurlijk in iedere techniek goede en minder goede schakelingen ontwerpen.

Verder moeten we niet op de storingsgevoeligheid van de enkele schakeling letten, maar op de storingsgevoeligheid van een heel systeem, van een hele machine. En daarbij moeten we nog weer onderscheid maken tussen storingen van buiten en storingen door signalen in de machine.

Storingen van buiten komen in de schakelingen via bedradingscapaciteiten en wederzijdse inducties. Met het afnemen van de afmetingen zullen deze ook kleiner worden, zodat de storingen van buiten zullen verminderen. Hier is de micro-elektronica als techniek dus in het voordeel.

Hetzelfde geldt voor de interne storingen, maar hier is meer in het spel.

Door de lagere capaciteiten zullen de schakelingen steilere flanken produceren, die beter overgedragen worden op naburige geleiders. Dat werkt de verbetering weer wat tegen, maar er resulteert toch nog winst, al is het niet zo veel als bij de storingen van buiten.

Er is nog een soort interne storing, namelijk de storing die optreedt bij stroomovername van de ene trap op een andere, daaraan parallelgeschakelde.

Bedradingscapaciteit vermindert deze storing, integreert hem eigenlijk.

De micro-elektronica geeft lagere bedradingscapaciteiten en dus helaas grotere storingen. Onze enige hoop kan zijn dat deze ongewenste eigenschap van de huidige snelle transistoren nog eens zal worden weggewerkt. Overigens heeft de gebruiker het al dan niet optreden van deze storing zelf in de hand, door het al dan niet toepassen van deze parallelschakeltechniek.

Over het geheel genomen zal de micro-elektronica als techniek door zijn kortere verbindingen dus minder storingsgevoelig zijn dan de gangbare techniek. Zoals gezegd hangt het verder van het ontwerp van de schakelingen af, of een machine meer of minder storingsgevoelig zal zijn.

10. Slotopmerking

In de voorgaande beschouwingen is vrijwel uitsluitend gesproken over digitale schakelingen om de eenvoudige reden dat ik op dit gebied uit de meeste ervaring kon putten.

Dat betekent echter niet dat de micro-elektronica geen perspectieven opent voor de zogenaamde analoge schakelingen, zoals lineaire versterkers e.d.

Integendeel, er zijn reeds enkele zeer interessante toepassingen. Ook voor analoge schakelingen gelden de genoemde voordelen: klein, licht en goedkoop. En ook daar zal men op standaardisatie aan moeten sturen, omdat de prijs alleen maar laag wordt bij grote series.

Manuscript ontvangen op 2 december 1964.

Geïntegreerde schakelingen met opgedampte dunne lagen

door A. Rademakers*)

Voordracht gehouden voor het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap op 5 juni 1964.

Summary

This paper deals with the techniques in use for making integrated circuits from vacuüm deposited thin films. A survey is given of the present possibilities and limitations, and some practical realisations are shown.

1. Inleiding

De grote aandacht die het gebied van de geïntegreerde schakelingen in de laatste tijd tot zich heeft getrokken, heeft verschillende oorzaken, waarvan we de belangrijkste willen noemen:

a. De eenheid in fabricagemethode doet in het ideale geval de schakeling als één geheel ontstaan en kan daarom leiden tot produkten met een lagere prijs.

b. Om dezelfde reden zal het mogelijk zijn in de schakelingen een hogere betrouwbaarheid in te bouwen dan wanneer deze uit losse onderdelen worden samengesteld.

Bij veel van de conventionele onderdelen maakt men gebruik van dunne lagen materiaal, soms in vacuüm opgedampt (kool- en metaalfilm-weerstanden, condensatoren opgebouwd uit dunne folies diëlektricum met opgedampte metaal-elektroden). Het is daarom niet verwonderlijk, dat men is voortgegaan in de richting die tot de gedrukte bedrading heeft geleid en dat men volledige schakelingen uit dunne lagen op vlakke dragers is gaan opbouwen.

Er worden verschillende technieken beoefend voor het aanbrengen van de lagen; het opdampen in hoog-vacuüm is hieronder één van de belangrijkste.

) N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Icoma.

Dat de voorkeur uitgaat naar vlakke substraten ligt enerzijds in redenen van fabricagetechniek: het werken met maskers en fotografische processen is dan gemakkelijk. Anderzijds echter speelt een rol dat het de meest logische bouwmethode voor grotere systemen is om platen te stapelen en de nodige doorverbindingen aan de randen ervan te maken.

In het volgende zal een overzicht gegeven worden van de technieken die in gebruik zijn bij het maken van elektronische schakelingen uit dunne lagen. We willen echter direct de nadruk leggen op het feit dat hier geen sprake is van volledig geïntegreerde schakelingen, maar van een hybride-vorm.

In de eerste plaats is het namelijk zo, dat actieve elementen in opgedampte vorm nog niet uit het researchstadium zijn. Daarom worden in de praktijk aparte halfgeleider-elementen aan de schakeling toegevoegd.

In de tweede plaats willen we erop wijzen, dat ook bij de passieve elementen en wel vooral bij de condensatoren en spoelen, zekere beperkingen gelden ten aanzien van de waarde en van de kwaliteit die met de opgedampte uitvoering bereikt kan worden.

Anderzijds echter zijn er interessante mogelijkheden om selectieve schakelingen te maken met continu verdeelde weerstand en capaciteit. Dit is een gebied dat juist bij deze technieken naar voren komt. Het valt echter buiten het bestek van dit artikel, en we verwijzen hiervoor naar de litteratuur[1]).

2. De opbouw van de schakelingen

Wanneer we gevallen als genoemd in het slot van de inleiding buiten beschouwing laten, kunnen we in dunne-lagen-schakelingen altijd duidelijk de aparte weerstanden, condensatoren en verbindende geleiders onderscheiden.

We willen deze stukken ook apart belichten, maar eerst nog ingaan op de dragers omdat de keuze hiervan nog weer enige principiële vragen met zich meebrengt.

2.1 *De dragers*

Er worden aan de dragers een aantal eisen gesteld, die voor een deel samenhangen met het gekozen vacuümproces, voor een deel van meer algemene aard zijn. Deze eisen liggen op de volgende gebieden:

2.1.1 Oppervlaktekwaliteit

De opgedampte lagen zijn vaak zeer dun, bijvoorbeeld 150 Å voor bepaalde weerstandslagen, 1000 – 10 000 Å voor diëlektrische lagen.

Wanneer men dan bedenkt, dat de geproduceerde schakeling onbruikbaar is wanneer één van de onderdelen buiten de toegestane tolerantie valt, wordt het duidelijk dat een zeer goed reproduceerbare oppervlakte-gesteldheid noodzakelijk is om een aanvaardbare opbrengst c.q. prijs te bereiken.

We moeten dan denken aan oppervlakken met een „ruwheid" van de orde van 100 Å. Dit kan vrij gemakkelijk gerealiseerd worden met glas, en ook organische materialen kunnen in principe hetzelfde geven.

Keramische stoffen echter blijken, ook bij zorgvuldig polijsten, niet veel gladder dan 5000 Å te maken te zijn.

2.1.2 Temperatuurbestendigheid

Om stabiele en goed hechtende lagen te verkrijgen moet het substraat tijdens het opdampen in vacuüm tot 250 – 300° C verhit worden.

Om deze reden vervallen organische dragers en ziet men voornamelijk glas en keramiek, dit laatste al dan niet voorzien van een dunne glaslaag, in verband met punt a), in gebruik.

2.1.3 Elektrische kwaliteit

2.1.4 Warmtegeleidingsvermogen

Dit punt is, evenals punt c) vooral van belang in verband met kwesties van warmte-ontwikkeling en bedrijfstemperatuur. De neiging tot miniaturisatie die onverbrekelijk verbonden is met de hele conceptie van de geïntegreerde schakelingen betekent in vele gevallen het concentreren van een bepaalde dissipatie in een kleiner volume dan tot nu toe. Dit betekent dat de bedrijfstemperatuur omhoog gaat tenzij men de warmteafvoer weet te verbeteren.

In het eerste geval moet men nagaan of bij de verhoogde temperatuur en onder invloed van de aangelegde spanningen geen schadelijk ionentransport in het substraat optreedt. Het

goedkope kalkglas heeft op dit punt zijn beperkingen wanneer de temperatuur boven 100° C stijgt.

Er zijn echter aanzienlijk betere glazen, ook in de vorm van vlakke platen, verkrijgbaar en ook de keramische substraten geven op dit punt geen moeilijkheden.

Wat het punt van de warmte-afvoer betreft, hier speelt het warmtegeleidingsvermogen van het substraat natuurlijk een rol. Ook hier beschikken we over ruime mogelijkheden tussen glas, keramieken als porcelein en steatiet die enige malen beter zijn, gesinterd Al_2O_3 dat ruim tien maal en gesinterd BeO dat ca. honderd maal beter is dan glas.

2.2 *De opgedampte lagen*

We zullen ons bezighouden met geleiderlagen, weerstandslagen en diëlektrische lagen (magnetische dunne lagen vormen weer een gebied dat buiten ons bestek valt) terwijl de vragen die zich voordoen vooral drie aspecten betreffen, namelijk:

de materiaalkeuze,
de wijze van opbrengen van de lagen, en
de wijze waarop de schakeling uit de lagen wordt gevormd.

2.2.1 De materiaalkeuze

De geleiders maakt men vanzelfsprekend bij voorkeur uit een materiaal met lage specifieke weerstand, dus een zuiver en goed geleidend metaal.

Edele metalen en daaronder vooral goud, worden gaarne gebruikt.

Een laag van 0,5 μm dikte (meer komt zelden voor) heeft dan een specifieke laagweerstand*) van de orde van 0,05 ohm, hetgeen betekent, dat een geleiderspoor dat tienmaal zo lang is als breed een weerstand van 0,5 ohm heeft. In vele gevallen is dit toelaatbaar, soms is een 10 maal hogere geleiderweerstand nog niet storend. Er komen echter vele gevallen voor waar een hoge geleiderweerstand tot ongewenste koppelingen kan leiden en waar naar andere wegen gezocht zal moeten worden.

Voor de weerstandslagen komen we natuurlijk graag van de andere kant: alliages met een hoge specifieke weerstand genieten

*) Specifieke laagweerstand = specifieke weerstand gedeeld door laagdikte ($R_\square = R_{spec}/d$). Daarmee wordt $R = R_{spec} \cdot l\,d\,/\,b = R_\square \cdot l/b$, dus de weerstand van een spoor bepaald door de lengte-breedte verhouding.

hier de voorkeur. Dit wordt gemakkelijk duidelijk wanneer we bedenken dat het geen extreme eis is om bijvoorbeeld een weerstand van 100 ohm en een van 10 *k* ohm samen op één plaatje uit dezelfde laag te willen maken. We moeten dit doen door variëren van de lengte-breedte verhouding en het zou in dit geval aantrekkelijk zijn om een specifieke laagweerstand van 1000 ohm te gebruiken.

Denken we nu aan een legering met hoge specifieke weerstand, bijvoorbeeld chroomnikkel met $R_{spec} = 150 \cdot 10^{-8}$ ohm m, dan vinden we $d = 15.10^{-10}\,m = 15\,\text{Å}$, ofwel slechts enkele atoomlagen. Dit is natuurlijk niet te realiseren.

De genoemde laagweerstand van 1000 ohm is daarom wel wat hoog gegrepen, maar aan de andere kant komt de natuur ons te hulp omdat het bij deze dunne lagen mogelijk blijkt het materiaal een aanzienlijk hogere specifieke weerstand te geven doordat tijdens de opdamping bepaalde chemische reacties kunnen optreden.

Zo neemt bijvoorbeeld chroomnikkel zelfs tijdens opdampen in een redelijk vacuüm van 10^{-5} torr reeds voldoende zuurstof op om een 3 à 5 maal verhoogde weerstand te krijgen, zodat een laag met $R_{\square} = 300\,ohm$ bij een $d = 150\,\text{Å}$ ontstaat.

In hetzelfde vlak liggen de resultaten met de zogenaamde cermets (verdampen van mengsels van *Cr* en *SiO*) en die met het sputteren van *Ta* in een argon-atmosfeer met een kleine toevoeging van stikstofgas[2,3]).

Een duidelijk gevolg van deze verschijnselen is ook het gedrag van de temperatuurcoëfficient van de uit deze lagen gemaakte weerstanden: afhankelijk van de opdampomstandigheden kan deze van negatief tot positief variëren, echter in het algemeen met kleine absolute waarde (van de orde van $10^{-4}/°C$).

Wat de diëlektrische lagen betreft: het aantal niet-geleiders dat in vacuüm overgedampt kan worden is vrij groot, maar de meeste ervan zijn niet goed als diëlektricum te gebruiken.

Het meest onderzocht en gebruikt is een oxyde van silicium dat ontstaat bij het overdampen van het bij hoge temperatuur vluchtige *SiO*, De samenstelling van de laag hangt weer af van wat er precies in het vacuüm tijdens de overdamping gebeurt. Zeker is wel dat er meer zuurstof in zit dan de formule *SiO* aangeeft. Een veilige veldsterkte voor lagen van deze soort is $10\,V/\mu m$. De minimale dikte moet in de praktijk $0{,}5 - 1\,\mu m$ zijn en een dergelijke laag geeft dan $40 - 80\,pF/mm^2$ (de waarde van ε_{rel} is 4 à 5).

Een moeilijk punt bij deze dunne diëlektrische lagen is natuurlijk de kans op onvolkomenheden: een gaatje in de laag wordt bij opdampen van de tweede elektrode een kortsluiting, terwijl daarentegen in een weerstand de stroom rustig om het gaatje heenvloeit. Stofvrij werken is daarom van speciaal belang bij diëlektrische lagen.

De bovengenoemde capaciteit per eenheid van oppervlak is niet erg groot. Er zijn verschillende wegen gezocht om dit getal te verhogen echter nog niet met duidelijk succes. Eén ervan is gebruik te maken van de veel dunnere lagen diëlektricum zoals deze in de elektrolytcondensator gevonden worden. Men dampt bijvoorbeeld tantaal op, oxydeert dit anodisch en dampt na droging een tegenelektrode op. Men kan zo tot 1000 pF/mm^2 komen bij spanningen van dezelfde orde als bovengenoemd (5 à 10 V).

Het realiseren van enigszins betrouwbare condensatoren is op deze manier echter nog slechts in het laboratorium gelukt en hetzelfde of nog minder moet men zeggen van de pogingen om materialen met hoge ε_{rel}, zoals TiO_2 en $BaTiO_3$ over te dampen.

Wèl mogelijk, en door ons nogal aantrekkelijk bevonden, is het gebruik van dunne plaatjes van deze keramiek, b.v. 0,1 mm dik, voorzien van opgedampte elektroden. Wanneer deze plat in de schakeling worden gesoldeerd is de ingenomen ruimte zeer klein en de bestaande keus in materialen en dikten maakt capaciteiten per eenheid van oppervlak van 10 tot 200 pF/mm^2 mogelijk.

2.2.2 Het opdampen

We willen niet uitgebreid ingaan op de verschillende manieren waarop de stoffen in vacuüm verdampt worden, maar ons beperken tot het geven van enige algemene gezichtspunten.

De stoffen worden verhit tot een zodanige temperatuur dat de hierbij behorende dampspanning een voldoende dampstroom geeft. De totale dampstroom is evenredig met het produkt van het oppervlak van de bron en de dampspanning. Een bron met een klein oppervlak en een hoge temperatuur kan dus dezelfde dampstroom geven als een met groter oppervlak en lagere temperatuur. Wil men de gunstigste verhouding hebben tussen afgestraalde warmte en afgegeven damp dan moet men in de eerste richting werken, want de dampspanning stijgt sterker met de temperatuur dan de straling.

In bepaalde gevallen is deze overweging doorslaggevend; men

verhit dan metalen in geschikte kroesjes tot ver boven het smeltpunt.

Indien dit niet gaat omdat reacties met het kroesmateriaal optreden, zijn er mogelijkheden met elektronenbombardement, waardoor een plasje gesmolten metaal in een verder vast blokje ontstaat. Wil men echter grote oppervlakken gelijkmatig bedampen, zoals juist in de produktie van circuits voorkomt, dan hebben bronnen met een grotere uitgebreidheid belangrijke voordelen. Philips' Hoofdindustriegroep Icoma maakt b.v. voor het verdampen van metalen veel gebruik van bronnen die uit de vaste faze verdampen: een draad of band van het metaal wordt door stroom verhit tot even beneden het smeltpunt en levert dan, dank zij het grote oppervlak toch een redelijke dampstroom.

Zo kan men uit 80 cm nikkelchroomdraad van 2 mm ø in 10 minuten een laag met $R_{\square} = 300$ ohm op $0{,}4\ \mathrm{m}^2$ glasoppervlak deponeren. Een belangrijk punt bij het verdampen van legeringen als hier genoemd is het verschijnsel van de gefractioneerde destillatie, waardoor de vluchtigste component het snelst verdampt. De samenstelling van de laag wordt hierdoor variabel. De vaste bron is op dit punt echter goed berekenbaar[4]).

2.2.3 De vormgeving

Tenslotte komt de vraag naar voren hoe de werkelijke schakeling, dus het patroon van lijnen en vlakjes met afwisselend het karakter van weerstand, geleider en capaciteit uit de lagen wordt gevormd.

Voor de hand liggend en ook veel gebruikt, is de methode om door maskers op te dampen. De vormgeving gebeurt dan dus direct bij het ontstaan van de lagen. Het gehele proces speelt zich af in een aantal stappen waarbij telkens een volgend materiaal door een bijbehorend masker wordt opgedampt. Figuur 1 geeft schematisch de gang van zaken bij het maken van weerstanden, condensatoren en kruisende verbindingen weer.

Het maken van een *RC*-combinatie met kruisende verbindingen en met verschillende metalen voor de geleiders en de condensator-elektrodes vraagt dan zes stappen: weerstand-materiaal, geleider-materiaal, elektrode-materiaal, diëlektricum (ook als isolatie bij kruisingen), elektrode-materiaal en geleider-materiaal voor de kruisingen.

Wil men in een redelijk tempo kunnen werken dan moeten deze stappen zonder onderbreking op elkaar kunnen volgen. De bronnen en maskers moeten dus verwisseld kunnen worden zonder het vacuüm te onderbreken. De machines worden dan,

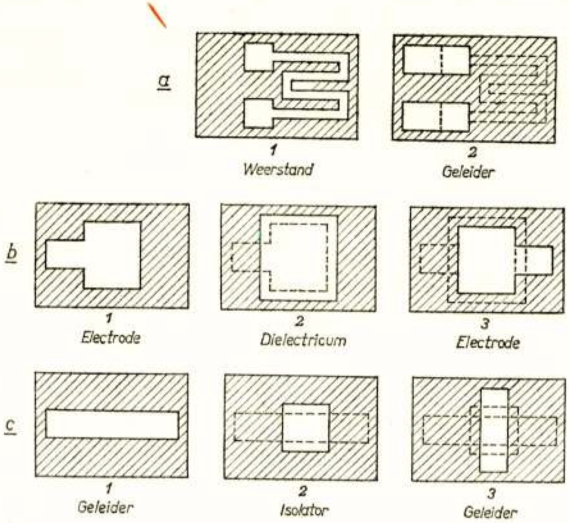


Fig. 1
Opdampmaskers voor het maken van:
a) weerstanden
b) condensatoren
c) kruisende verbindingen

ook wegens de nauwkeurige positionering die nodig is, zeer ingewikkeld en hebben in de praktijk nog niet tot economisch bruikbare produkties geleid.

Een geheel andere benadering van het probleem is om eerst het gehele substraat vol te dampen met de laag en dan het teveel aangebrachte te verwijderen. Dit laatste gebeurt meestal chemisch, na afdekken van het te bewaren gedeelte met een resistente lak.

Voor deze lak neemt men bij voorkeur een fotogevoelige, d.w.z. een die bij belichting een zodanige verandering ondergaat dat hij niet, of juist wel, oplosbaar wordt in bepaalde vloeistoffen (beide typen komen voor). Men kan dan dus het hele plaatje met lak bedekken, belichten door een fotografisch masker en daarna de lak „ontwikkelen", d.w.z. het te verwijderen gedeelte oplossen. Wanneer men nu het plaatje in een bad brengt dat de aangebrachte metaallaag oplost, vormt men weer het gewenste patroon. Figuur 2 geeft de gang van zaken schematisch weer. Soms is echter de metaallaag moeilijk chemisch aan te tasten. Dan geeft hetzelfde proces een andere mogelijkheid: men kan er dan een opdampmasker mee maken dat op ideale wijze tegen het substraat aanligt. Men doet dit door een hulp-

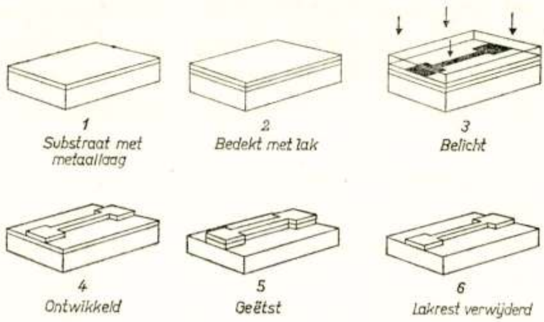


Fig. 2
Het etsen van een patroon uit een metaallaag met behulp van een fotogevoelige lak

laag van een gemakkelijk oplosbaar metaal op te dampen, hieruit het maskerpatroon te etsen, dan de hele plaat met het voor de schakeling nodige metaal te bedampen en tenslotte het maskermetaal op te lossen. Dit neemt het opliggende andere metaal mee en het gewenste patroon blijft met een zeer goede definitie achter.

In de praktijk kan men allerlei combinaties van de beschreven technieken gebruiken om een schakeling te maken. De meest elegante is die waarbij weerstand-geleider-combinaties worden gemaakt door eerst het gehele plaatje te bedekken met een dubbellaag van beide metalen, het weerstandsmetaal onder, het geleidermetaal er overheen. Daarna wordt dan eerst met behulp van een lakmasker de dubbellaag weg geëtst, overal waar geen metaal mag achterblijven. Vervolgens wordt, weer met een lakmasker, van het resterende patroon alleen de geleiderlaag weggeëtst overal waar weerstand moet komen. Figuur 3 geeft dit schematisch weer. Hier is natuurlijk een vereiste dat de tweede selectieve etsing feilloos kan gebeuren, dus zonder aantasting van de weerstandslaag.

De nauwkeurigheid waarmee de vormgeving gebeurt is even

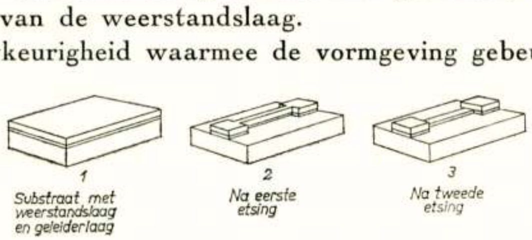


Fig. 3
Het maken van een weerstand-geleider patroon uit een dubbellaag door selectief etsen

belangrijk voor het bereiken van kleine toleranties in de waarden van de onderdelen als het beheersen van de opdampprocessen. Het blijkt mogelijk om de breedte van de weerstandssporen tot op minder dan 0,01 mm te reproduceren. Het resultaat van het gehele proces is dan dat weerstanden met een lijnbreedte van 0,3 mm binnen een tolerantie van $\pm 5\%$ gemaakt kunnen worden.

De aard van de processen brengt echter op dit punt nog een voordeeltje met zich mee: een deel van de afwijkingen is van systematische aard met als gevolg dat de relatieve spreiding tussen de weerstanden op één substraat kleiner is. Zo kan op plaatjes van 10 x 15 mm² gelijktijdig een totale relatieve spreidingsbreedte van 4% gerealiseerd worden.

Gebruikt men smallere weerstandsbanen dan loopt de spreiding op. Zolang men niet overgaat tot individueel afregelen van de weerstanden moet er dus een compromis gezocht worden tussen de toegestane spreiding en de wens om veel weerstand per oppervlakte-eenheid aan te brengen.

Voor deze laatste grootheid geldt een eenvoudig vuistregeltje: wanneer we een laag met specifieke laagweerstand $R_\square$ verdelen in banen met breedte b (mm) gescheiden door even brede isolatiestroken vinden we:

$$\frac{R}{mm^2} = \frac{1}{2}\,\frac{R_\square}{b^2}$$

Met $R_\square = 300$ ohm en $b = 0{,}3$ mm geeft dit ca. 1600 ohm/mm². Verkleining van b geeft een kwadratische stijging van de bereikbare weerstandswaarden.

2.3 *De opbouw van de volledige schakeling en de omhulling*

In de inleiding werd reeds opgemerkt dat actieve elementen in de vorm van opgedampte lagen nog niet ter beschikking staan. De schakeling moet dus gecompleteerd worden door het toevoegen van aparte transistoren en diodes en het is duidelijk, dat men deze vraagt in een uitvoering die gericht is op de speciale toepassing: ze moeten klein zijn en gemakkelijk op de vlakke schakeling te bevestigen.

Nu zijn de halfgeleiderkristallen op zichzelf klein genoeg; de problemen liggen vooral bij de omhulling en het aanbrengen van de contacten.

De ontwikkeling is hier in volle gang. Naast hermetische

omhullingen, in de stijl van een sterk geminiaturiseerd *TO*-5 doosje (de *SOT*-6-omhulling, ca. 3 mm ø bij 1 mm hoog), ziet men ook niet-hermetische, waarbij het kristal slechts met een laag lak of plastic is afgedekt. Men overweegt bij het gebruik van deze laatste vormen dat de volledige schakeling toch nog omhuld moet worden en dat het dan soms overbodig is om reeds te beginnen met een perfecte afsluiting van de halfgeleiders. De contacten bestaan in bovengenoemde gevallen meestal uit dunne draadjes of bandjes.

Er is echter een duidelijke tendens om deze te elimineren en

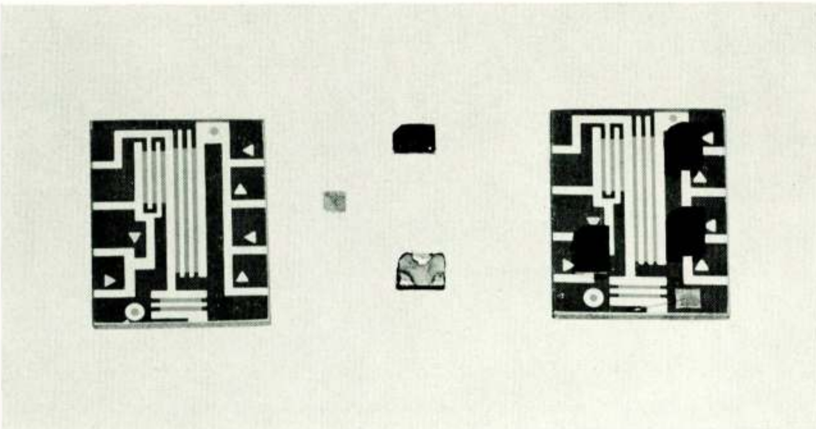


Fig. 4
Miniatuur-halfgeleider en „chip"-condensator, los en gemonteerd in een circuit (10 × 15 mm²)

te komen tot uitvoeringen met vaste, reeds vertinde contactvlakjes of -puntjes die dan direct op de opgedampte geleidersporen aangesloten kunnen worden.

Een veelbelovende ontwikkeling in deze richting is gebaseerd op de planaire silicium-techniek. De hermetische omhulling is teruggebracht tot een uiterst dun glaslaagje direct op het silicium-kristal van ca. 0,6 mm in het vierkant en de contacten bestaan uit miniem-kleine vertinde bolletjes die liggen in gaatjes in het glasplaatje[5])

Bij Philips' H.I.G.-Elektronenbuizen werd een met plastic afgedekte halfgeleider met vaste contacten ontwikkeld, waarbij het kristal gemonteerd is op een klein keramisch plaatje van 2,4 x 1,6 mm², dat deze contacten draagt.

Figuur 4 geeft hiervan een beeld, los en in gemonteerde toestand. De figuren 5 en 6 tenslotte geven voorbeelden van geheel ge-

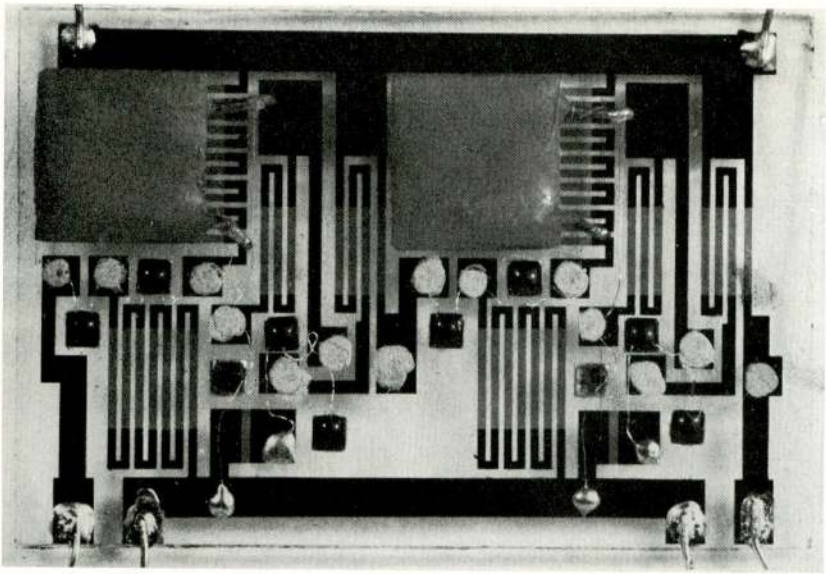


Fig. 5
Middenfrequentversterker voor 455 kHz, 80 dB, op een plaatje van 20 × 30 mm²

monteerde schakelingen zoals die bij Philips ontwikkeld zijn: figuur 5 van een lineaire versterker, figuur 6 van een logische schakeling. In beide gevallen zijn geen opgedampte condensatoren toegepast maar zijn losse condensatoren ingesoleerd. In het tweede geval zijn dit kleine keramische „chips" waarvoor de bevesti-

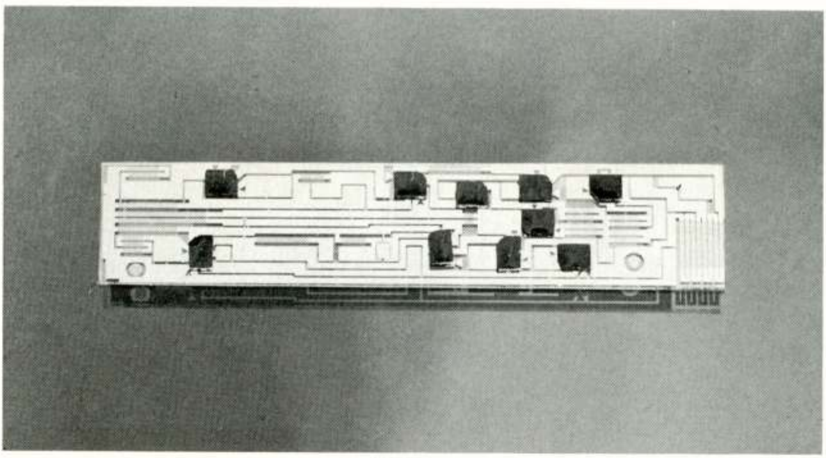


Fig. 6
Bistabiele multivibrator (10 × 50 mm²)

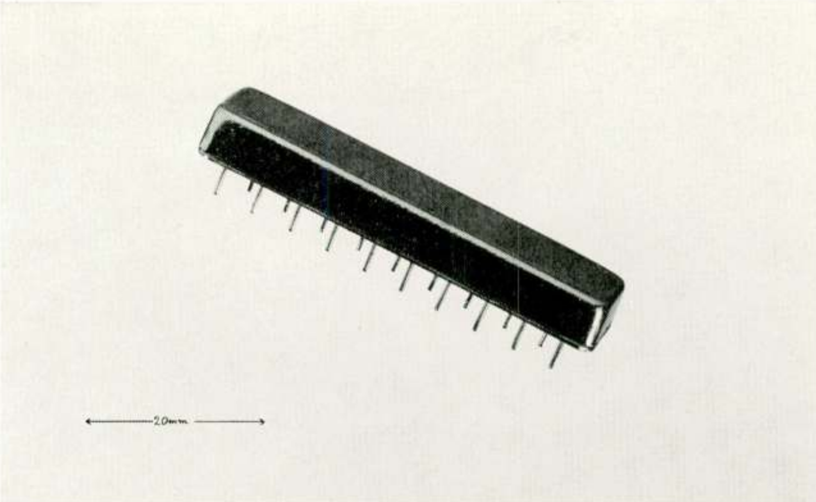


Fig. 7
Hermetische omhulling voor het circuit van fig. 6

gingstechniek in principe dezelfde is als voor de bovengenoemde halfgeleiders.

De laatste schakeling wordt geplaatst in een hermetische omhulling, zoals afgebeeld in figuur 7. In vele gevallen zal echter een lak- of plastic-omhulling voldoende zijn. Figuur 8 geeft hiervan een voorbeeld.

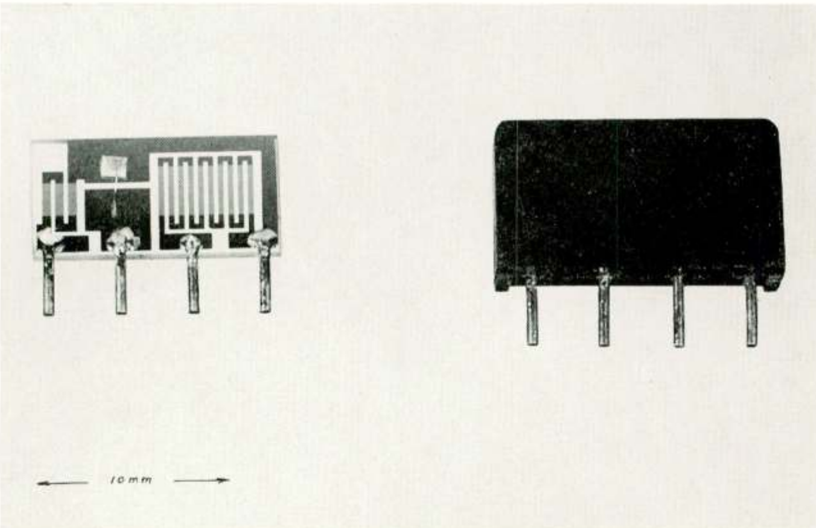


Fig. 8
RC-combinatie in plastic omhulling

LITTERATUURVERWIJZINGEN

1) J. M. Bartlemay et. al. Applications of a tapered thin-film distributed parameter structure to the design of microminiaturized circuits.
Proceedings 1963 Electronic Components Conference, Washington D.C., May 7-9, 1963, pg. 160.

2) M. Beckerman et. al. Integrally fabricated resistors and their performance.
Proceedings 1962 Electronic Components Conference, Washington D.C., May 8-10, 1962, pg. 53.

3) D. Gerstenberg et. al. Properties of the tantalum sputtered films.
Proceedings 1962, Electronic Components Conference, Washington D.C., May 8-10, 1962, pg. 57.

4) P. Huijer et. al. Vervaardiging van weerstanden door opdampen.
Philips' T.T., 24, 1962, pag. 329.

5) E. M. Davis et. al. An approach to low cost, high performance microelectronics.
1963 Western Electronics Show and Convention San Francisco, Aug. 20-23, 1963.

Manuscript ontvangen op 5 februari 1965.

25 JAAR OUDE ZENDERS VERVANGEN

Na vijfentwintig jaar trouwe dienst zijn de radio-omroepzenders Hilversum I (402 meter) en Hilversum II (298 meter), beide van 125 kW, vervangen door twee nieuwe Philips' 120 kW-middengolf-omroepzenders type 8 FZ 517/20.

De reden van deze vervanging is niet zozeer dat de oude zenders door de jaren heen aan vermogen of kwaliteit zouden hebben ingeboet, als wel de omstandigheid dat de onderdelen en vooral de zendbuizen — het ontwerp dateert al uit 1936 — slechts tegen hoge prijzen verkrijgbaar zijn omdat zij van een niet meer gangbaar type zijn en soms dus apart gemaakt moeten worden. Ook het rendement van de nieuwe zenders ligt hoger (nl. 60%, tegen 40% bij de oude) en de onderhoudskosten van de nieuw ontwikkelde apparatuur zijn aanzienlijk geringer.

De beide oude zenders zijn per dag respectievelijk 19 en 18½ uur in de ether geweest d.w.z. gedurende de tijd van hun bestaan 175.000 en 168.750 diensturen. Gemiddeld waren ze dus 6400 uur per jaar in bedrijf. De storingstijden van beide zenders, hoofdzakelijk veroorzaakt als gevolg van weersinvloeden — o.a. 200 keer per jaar blikseminslag — hebben gemiddeld resp. 108 en 96 minuten per jaar bedragen.



Als een jas paste het zendergebouw om de vroegere apparatuur, terwijl de onlangs geplaatste installatie slechts éénzesde van de vroegere ruimte vraagt.

De geringere onderhoudskosten van het nieuwe zendertype (ontworpen voor een bereik in het middengolfgebied van 525 tot 1605 kiloHerz) hangen o.m. samen met de compacte bouw, waardoor de apparatuur overzichtelijker is geworden. De bediening, hoewel anderssoortig dan die bij de oude, is bijzonder eenvoudig en vereist geen intensieve omscholing van het personeel. Het automatische schakel- en beveiligingssysteem biedt volledige bescherming in geval van bedieningsfouten of storingen.

De koeling geschiedt niet langer met behulp van koud water, doch men maakt gebruik van de warmte die kokend water behoeft bij zijn overgang tot stoom. Deze procedure, waar uiteraard veel minder water voor nodig is, spaart geld en ruimte.

Het oude koelsysteem had een waterverbruik van 400 liter per uur tegenover 6 liter voor de beide nieuwe zenders. Een bijkomend voordeel is nog, dat de stoom wordt afgevoerd via een aantal verwarmingselementen waardoor een gedeelte van het zendergebouw kan worden verwarmd.

Op energieverbruik kan op beide nieuwe zenders ca. *f* 70.000,— per jaar worden bespaard.

De betrouwbare werking en de grote doelmatigheid van dit type zender worden o.m. bereikt door het gebruik van buizen met een hoge versterkingsfactor, waardoor het aantal trappen, evenals het aantal voedings- en beveiligingsschakelingen beperkt kan blijven. Het verwisselen van buizen — die een gegarandeerde levensduur hebben van 10.000 zenduren — kan snel en veilig plaatsvinden.

Storingen van buitenaf worden opgevangen door snelschakelbeveiligingen.

De vervanging van Hilversum I, die — inclusief de voorbereiding — ongeveer zes weken geduurd heeft, kreeg haar beslag op 27 juni jl. Hilversum II was eind september weer in de ether.

De vervanging van de radio-omroepzenders bood een unieke gelegenheid om ook de twee bijbehorende antennemasten met alles wat erop en eraan zit, aan een uitgebreide revisie te onderwerpen.

(Ontleend aan „P.T.T.-Bedrijfsbanden", oktober 1965).

RADIOSTORING UIT WERELDRUIMTE DIENSTBAAR GEMAAKT AAN CONTROLE VAN MILITAIR WAARSCHUWINGSNET

Technici van de Amerikaanse International Telephone & Telegraph Corp. hebben lang gezocht naar een praktisch middel om controle uit te oefenen op de bedrijfsgevoeligheid van de communicatie-ontvangers, behorende tot de z.g. „Distant Early-Warning Line". Dit is het waarschuwingssysteem dat dient voor de militaire beveiliging van het Amerikaanse continent aan de noordzijde en bestaat uit een 10000 km lange keten van radar- en radiocommunicatiestations, van Oost-Groenland over Canada tot de uiterste punt van Alaska.

Een even doeltreffend als eenvoudig controlemiddel is gevonden door gebruik te maken van het storingscentrum in een nog niet gedefinieerde plaats van het melkwegstelsel. Onder normaal bedrijf „kijken" de radiobundels van de DEW-stations eens per dag naar het genoemde centrum. Op dat ogenblik wordt de ontvanggevoeligheid van het station gemeten en geregistreerd. Dank zij het feit dat de storingsbron in het melkwegstelsel een volkomen constante intensiteit blijkt te bezitten, wordt op deze wijze een absolute en periodieke controle op de bedrijfsvaardigheid van het DEW-waarschuwingsnet verkregen.

BOEKBESPREKINGEN

„*Principles of Television Engineering*", door R. C. Whitehead, Iliffe Books Ltd., London, 1965. Twee delen, 178 + 270 bladzijden, 119 + 167 figuren. Prijs 25 + 35 sh.

Een goede algemene inleiding in de televisietechniek op middelbaar-technisch niveau. Het eerste deel behandelt enige algemene onderwerpen zoals aftasting,

videosignaal, gamma, synchronisatie. Het tweede deel gaat iets dieper in op de apparatuur in studio's, voor transmissie en voor ontvangst. De behandeling is in het algemeen duidelijk en goed ter zake, maar niet zeer diepgaand. De boeken zijn uitgevoerd als „paperback".

F. W. de V.

„Unified circuit theory in electronics and engineering analysis", door J. W. Head en C. G. Mayo, Iliffe Books Ltd., London, 1965. 174 bladzijden, 20 figuren. Prijs 42 sh.

Dit boek behandelt de toepassing van operatorenrekening o.a. voor inschakelverschijnselen op netwerken met discrete en, in enkele voorbeelden, met verdeelde elementen. De auteurs willen tevens de voordelen aantonen, welke de operatorenrekening volgens Heaviside biedt tegenover de andere veel gebruikte methoden, zoals de transformatie van Laplace.

Na een inleiding over algemene operatoren, gaan de auteurs over tot de be-behandeling van de operator p $(= \frac{d}{dt})$. Door invoering van een fysische beschrijving van zuiver wiskundige functies, (sprongfunctie en deltafunctie) wordt de convergentie van bepaalde integralen en andere limietprocessen gewaarborgd, waardoor verwisseling van limietovergangen mogelijk is en aanleiding geeft tot een algebraïsche behandeling van de operator p. In een laatste hoofdstuk trachten de auteurs een generalisatie te geven met betrekking tot vectoren. Na een overzicht volgt een appendix, waarin bepaalde onderwerpen, zoals de „root-locus"-methode en de matrix-algebra met een enkel voorbeeld nader worden toegelicht.

Over het algemeen treft men een elementaire behandeling aan, al kan contourintegratie niet vermeden worden. Door de vaak niet volledige wiskundige beschrijving van bepaalde gedeelten in dit boek, krijgt de overtuigingskracht van de auteurs minder effect. De opmerkingen t.a.v. de transformatie van Laplace, zijn naar mijn mening niet geheel terecht (blz. 91).

Het boek is bedoeld als eenvoudige inleiding voor ingenieurs en gevorderde studenten.

E. W.

„Excitons", door D. L. Dexter en R. S. Knox, John Wiley & Sons, New York-London-Sydney, 1965. 139 bladzijden, 32 figuren. Prijs 50 sh.

Dit boekje beoogt op eenvoudige wijze uiteen te zetten wat een exciton is, en welke verschijnselen men ermee verklaart. De naam exciton werd voor het eerst gebruikt in de halfgeleider-fysica. Een intrinsieke halfgeleider bij temperatuur $T = 0$ kan men, zoals bekend, karakteriseren door een geheel gevulde valentieband en een geheel lege geleidingsband. Excitaties verkrijgt men door elektronen in de geleidingsband te brengen (gaten achterlatend in de valentieband). Dit beeld nu is onvolledig als men de coulombse wisselwerking tussen elektronen en gaten niet in rekening brengt. De excitaties die men krijgt door deze wisselwerking wel in rekening te brengen, noemt men excitonen. Deze excitonen zijn elektrisch neutraal (elektron-gat-combinaties), hebben een golfvector (kunnen dus „lopen"), en kunnen optisch worden aangeslagen. Excitonen spelen in principe een rol in iedere periodieke structuur met elektronische excitaties. Daarom is de interesse niet slechts beperkt tot de fysica en de chemie, maar is het zeer wel denkbaar, dat het exciton een fundamentele rol speelt in biologische processen, niet in het minst vanwege zijn vermoede eigenschap om energie te transporteren over afstanden die groot zijn ten opzichte van atomaire afstanden.

Aangezien verreweg het meeste werk aan excitonen door fysici is gedaan en de auteurs fysici zijn, is het niet verwonderlijk dat het boek uitsluitend fysische aspecten belicht. In hun voorwoord spreken de auteurs de hoop uit, dat zij het zo eenvoudig hebben gehouden, dat het boek leesbaar is voor biologen en psychologen, althans daar waar kwalitatieve beschouwingen worden gehouden. Het lijkt mij toe, dat biologen en psychologen er een zware kluif aan zullen hebben. De beschouwingen zijn doorspekt met typisch fysische begripsaanduidingen, die het voor een niet-fysicus zeer moeilijk maken, ondanks de duidelijke

pogingen de betogen populair te houden. Dit laatste op zijn beurt werkt helaas slechts storend voor de fysisch geschoolde lezer. Toch staan er zeker lezenswaardige stukken in. Bijvoorbeeld hoofdstuk 5 over het energietransport door excitonen is beslist nuttig. Resumerend kan men zeggen, dat het boek, ondanks goede elementen, niet geheel aan zijn doel beantwoordt.

W. van H.

Uit het N.E.R.G.

WERKVERGADERINGEN.

In samenwerking met de Sectie voor Telecommunicatietechniek van het KIVI werd op 17 juni 1965 in Den Haag een werkvergadering gehouden, gewijd aan *datatransmissie*.

Als inleiding tot een drietal voordrachten van overwegend technische aard werd door Ir. J. Piket aandacht gevraagd voor enkele *overwegingen in gebruikerskringen*, die de vormgeving van technische oplossingen sterk zal beïnvloeden.

Als toetssteen wordt gebruikt de nu in gang zijnde ontwikkeling in de V.S. van Amerika. Daar wordt ernstig rekening gehouden met de waarschijnlijkheid, dat tegen 1975 de benodigde kanaalcapaciteit voor datatransmissie op publieke netten die voor telefonie zal gaan overtreffen.

Samenhangend daarmee heeft A.T.T. een grootscheeps vernieuwings- en uitbreidingsprogramma voor zijn netwerk aangekondigd. Deze maatschappij stelt zelfs voor geïnteresseerde gebruikers een volledig breedband-„Telpak" (tot 500.000 baud) ter beschikking. Western Union biedt „broadband exchange service" aan, waarbij de gebruiker de vereiste kanaalbreedte bepaalt. Een levendige handel in datasets en dataphones (data en telefonie op dezelfde verbinding) is begonnen.

Velen vragen zich nog steeds af, waar een dergelijke grote vraag te plaatsen valt.

Als men drie categorieën van toepassingen onderscheidt:
— procesmeting en -besturing op afstand,
— in- en uitvoer van rekencentrales ten behoeve van technische en wetenschappelijke berekeningen,
— informatieverkeer van het bedrijfs- en zakenleven,
dan kan (als gevolg van koppeling van rekentuigen en communicatienetten) alleen in de laatste categorie een groei van de behoefte met explosief karakter worden verwacht.

Onder Amerikaanse omstandigheden schijnt dit nu bevestigd te worden in talloze berichten over installaties van geografisch gespreide geïntegreerde systemen, waarbij „on-line, in real-time" tussen mens en machine wordt gecommuniceerd.

Men mag aannemen dat in de toekomst deze werkwijze de normale zal zijn.

Zich nog steeds bepalend tot de laatste categorie van toepassingen betoogde de spreker, dat soepele interactie tussen mens en machine vergt, dat „deelberichten", die 50 à 100 karakters kunnen beslaan, worden overgedragen in omstreeks 1 sec, inclusief de (liefst automatische) foutencorrectie.

Ir. F. de Jager sprak over de *modulatie bij datatransmissie*. Bij datatransmissie via telefonieverbindingen moet de modulatiemethode zijn aangepast aan de typische eigenaardigheden van een voor spraak ontworpen transmissieweg. Deze zijn: het ontbreken van lage frequenties, de aanwezigheid van relatief grote fazevervormingen en, bij toepassing van draaggolftelefonie, het optreden van kleine frequentieverschuivingen. Om hiervan zo weinig mogelijk last te ondervinden moet bij het opvoeren van de transmissiesnelheid het bruikbare deel van de frequentieband zo effectief mogelijk worden benut.

In deze voordracht werden allereerst de fundamentele eisen voor een overdrachtskarakteristiek nagegaan, welke een exacte weergave van datasignalen moeten garanderen. Naast de gebruikelijke systemen van amplitude-, frequentie- en fazemodulatie komen daarbij vooral de orthogonale modulatiesystemen aan de orde.

Tot de recente ontwikkelingen op het gebied van datatransmissie behoren verder ook die codes, waarbij het frequentiespectrum op een specifieke wijze wordt getransformeerd, bijvoorbeeld ter realisering van bepaalde nulpunten in het spectrum, zoals in de bipolaire en duobinaire code. Deze nulpunten kunnen enerzijds worden benut voor een beperking van de frequentieband en anderzijds voor een gelijktijdig overzenden van bepaalde hulpsignalen als draaggolf- en klok-informatie.

Het blijkt dat men de genoemde codes kan generaliseren tot pseudo-ternaire codes van hogere orde. Als voorbeeld hiervan werd een synchroon datasysteem toegelicht dat werkt met een transmissie-snelheid van 4800 bit/sec. en daarbij uitsluitend frequentiecomponenten in de band van 700 tot 3100 Hz bevat.

Na de lunchpauze sprak Ir. F. W. Höld over de *transmissiewegen*, dit zijn de bestaande telecommunicatiewegen, te weten telegraafleidingen, telefoonleidingen en leidingen voor grotere bandbreedte.

1. Op telegraafleidingen (huurleidingen zowel als aansluitingen op het openbare telexnet) is de modulatiesnelheid beperkt tot 50 baud. Naast de normale verreschrijvercode zijn vele daarvan afwijkende codes toegelaten. Het voordeel boven telefoonleidingen is dat ze goedkoper zijn en dat de modem reeds in de leiding is opgenomen.

2. Op telefoonleidingen is het plaatsen van een modem bij de klant noodzakelijk om het signaal aan te passen aan de eigenschappen van de leiding. De maximale modulatiesnelheid is op goede telefoonhuurleidingen ca. 2400 baud. Om diverse redenen is de snelheid op gekozen telefoonverbindingen meer beperkt, o.a. omdat effenen van de leiding slechts in geringe mate mogelijk is en omdat rekening moet worden gehouden met signaleringsfrequenties die in de band voorkomen. Het CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) heeft hiervoor 1200 baud aanbevolen of — voor de gevallen waarin dit geen goede overdracht geeft — 600 baud. Over gekozen verbindingen is hiermee semi-duplex verkeer mogelijk, d.w.z. afwisselend zenden en ontvangen. Een smal (75 baud-)kanaal is daarbij van de frequentieband afgesplitst om, bij systemen met foutendetectie, herhaling te kunnen vragen.

Naast het hierboven genoemde 1200/600-baud-systeem is door het CCITT een systeem voor volledig duplex-verkeer gestandaardiseerd. Hierbij is de frequentieband van het telefoonkanaal in tweeën gedeeld; over elk deel kan tegelijkertijd in twee tegenovergestelde richtingen verkeer met een modulatiesnelheid van 200 baud plaatshebben.

De foutenkansen kunnen slechts zeer globaal worden aangegeven. Voor telegraafleidingen en telefoonhuurleidingen geldt ongeveer 1 foutief element per 10^5, voor gekozen telefoonverbindingen ligt de foutenkans, voornamelijk als gevolg van kiezergeruis, een factor 10 à 100 maal hoger. In die gevallen waarin deze foutenkansen te hoog zijn kan met redundante codes en foutendetecterende of -corrigerende apparatuur verbetering worden verkregen.

3. In Nederland worden voor datatransmissie nog geen leidingen voor grotere bandbreedte toegepast. In principe bestaan echter de volgende mogelijkheden: muziekkanalen voor ca. 7500 baud, groepen van draaggolfkanalen voor ca. 30 kilobaud en voor ca. 150 kilobaud en zelfs televisiekanalen voor ca. 3 megabaud.

In de Verenigde Staten van Amerika zijn soortgelijke leidingen o.a. onder de naam Telpak bekend.

Als laatste sprak Ir. L. E. Zegers over *codering en foutenbeheersing*.

Bij het ontwerpen van systemen voor datatransmissie wordt naast voldoende betrouwbaarheid en rendement gestreefd naar eenvoud van de noodzakelijke hulpmiddelen. Uit de informatietheorie is bekend dat met een signaalconstructie, die zich over een onbeperkte tijdsduur uitstrekt, perfecte betrouwbaarheid en een eindig rendement tegelijkertijd bereikbaar zijn. In de praktijk zijn slechts beperkte middelen beschikbaar waardoor de te realiseren betrouwbaarheid en het bereikbare rendement uit een compromisoplossing gevonden moeten worden. Hierbij dienen in de eerste plaats de gebruikte transmissiewegen, bijvoorbeeld geschakelde telefoniecircuits, onderzocht en gekarakteriseerd te worden. Dit kan geschieden in de vorm van stoormodellen. Deze stoormodellen zijn dan van nut bij de keuze van geschikte methodes voor foutenbeheersing, die — bij de geldende

transmissiecondities — op reproduceerbare wijze onderling vergeleken kunnen worden. Enkele van deze stoormodellen werden nader beschouwd.

Vervolgens werd een overzicht gegeven van enkele gangbare methodes voor foutencorrectie, namelijk zelf-corrigerende codes en foutendetectie in combinatie met heruitzending. Bij de keuze van een methode voor foutencorrectie speelt het synchronisatieaspect een belangrijke rol. Synchronisatie van zend- en ontvanggedeelte bij een systeem van datatransmissie is in de regel noodzakelijk voor de juiste interpretatie van de ontvangen gegevens. Voor het tot stand brengen en handhaven van de synchronisatie zijn dan speciale maatregelen nodig, die onder meer het rendement van de verbinding verder doen dalen. Een interessante kwestie is in hoeverre deze rendementsdaling ten goede komt aan een verhoogde betrouwbaarheid van de verbinding.

De beschreven gang van zaken bij de keuze van een methode voor foutencorrectie werd tenslotte gedemonstreerd aan de hand van een eenvoudig systeem, speciaal bestemd voor de correctie van meervoudige fouten (bursts). Door middel van dit systeem, dat werkt zonder terugvraagkanaal en berust op foutendetectie en tijd-diversity, is het bij een rendement van 50% mogelijk om alle meervoudige fouten binnen een gegeven tijdinterval te corrigeren, indien het tijdinterval gevolgd wordt door een foutvrij interval van gelijke lengte. De optimalisatie van het systeem en de berekende eindfoutenkansen, bij toepassing op geschakelde telefoniecircuits, werden gegeven.

LEDENMUTATIES

Nieuwe leden

Ir. L. de Boer, P. van Houtstraat 38, Duiven.
Ir. G. van Dasler, Bonnikestraat 52, Hilversum.
Ir. W. Visscher, van Goyenlaan 195, Soest.

Voorgestelde leden

Ir. A. L. Biermasz, Mathijsenlaan 46, Eindhoven.
Ir. J. H. Dijk, Eemnesserweg 55, Hilversum.
Ir. C. A. G. Kloeck, Hendrik de Keyzerlaan 95, Eindhoven.
Ir. J. A. G. G. de Vries, Floralaan West 296, Eindhoven.

Nieuwe adressen van leden

Ir. F. C. de Boer, Fontanalaan 16, Eindhoven.
Ir. J. van Buuren, Gerritsmastraat 7, Heerenveen.
Ir. L. F. Dert, van Lenneplaan 1, Hilversum.
Ir. S. Kukler, Brittenburg 12, Leiderdorp.
Ir. J. Mulder, Raadhuislaan 36, Eemnes.
Ir. F. H. Plas, Burg. Martenssingel 59, Gouda.
Ir. H. A. Rodrigo, Beeklaan 506, Den Haag.
Ir. M. Steffelaar, Veldm. Montgomerylaan 699, Eindhoven.

Dit nummer werd gedrukt op 30 november 1965.